

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Návrh a 3D tisk výukové pomůcky
The Design and 3D Print Learning Devices

Student:

Mgr. Monika Divišová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Mgr. Monika Divišová**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Návrh a 3D tisk výukové pomůcky**
The Design and 3D Print Learning Devices

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor problematiky 3D tisku.
3. Představení, tvorba modelu výukové pomůcky.
4. Popis praktického tisku výukové pomůcky.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
[2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentální metody v tryskovom obrábění*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015




Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Mistopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě 5. 5. 2015

.....
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřou licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 5.5.2015.....



Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Mgr. Monika Divišová

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bušín 142

Poděkování:

Děkuji tímto panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, cenné rady a připomínky při tvorbě bakalářské práce. Dále děkuji své rodině, za její podporu při studiu.

Anotace bakalářské práce

DIVIŠOVÁ, M. *Návrh a 3D tisk výukové pomůcky: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2015, Vedoucí práce: Kratochvíl. J.

Tato bakalářská práce je zaměřena na nejčastěji používané technologie 3D tisku a tvorbu výukové pomůcky vytvořené pomocí 3D tisku. U každé technologie je uveden postup výroby modelu. Samotnou část práce tvoří popis tiskárny EASY3DMAKER, která využívá Fused Deposition Modeling (FDM) technologii, postup výroby 3D modelu výukové pomůcky a realizace 3D tisku.

Anotation of bachelor thesis

DIVIŠOVÁ, M. *The Design and 3D Print Learning Devices: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machining, assembly and engineering metrology, 2015, Thesis head: Kratochvíl. J.

This bachelor thesis is focused on the most often used technologies of 3D printing and creation of teaching tools created by using 3D printing. There is mentioned process of model production for each technology. The main part of the thesis is a description of the printer EASY3DMAKER which uses Fused Deposition Modeling (FDM) technology, production process of 3D model of teaching tool and 3D printing implementation.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
1 Úvod.....	10
2 Teoretický rozbor problematiky 3D tisku	11
2.1 Aditivní technologie 3D tisku.....	11
2.1.1 Stereolitografie (SLA).....	12
2.1.2 Laminated Object Manufacturing (LOM)	14
2.1.3 Selective Laser Sintering (SLS)	15
2.1.4 Fused Deposition Modeling (FDM)	17
3 Obecný postup výroby 3D modelu pomocí 3D tisku.....	19
3.1 Krok 1: CAD model.....	19
3.2 Krok 2: Přeměna 3D CAD modelu do STL formátu	20
3.3 Krok 3: Přenos STL souboru a nastavení přístroje	21
3.4 Krok 4: Orientace modelu.....	21
3.5 Krok 5: Převádění 3D modelu na sadu instrukcí pro tiskárnu	22
3.6 Krok 6: Demontáž.....	23
3.7 Krok 7: Post-processing modelu.....	23
3.8 Krok 8: Aplikace 3D modelu.....	24
4 Praktický tisk výukové pomůcky pomocí FDM technologie.....	25
4.1 Tiskový materiál pro tiskárnu EASY3DMAKER	25
4.1.1 ABS (Akrylonitril Butaien Styren).....	25
4.1.2 PLA (Poly Lactic Acid).....	26
4.2 Výroba modelu součástí.....	27
4.3 Převod modelu do STL formátu	28
4.4 Popis zařízení pro 3D tisk - tiskárna EASY3DMAKER	30
4.4.1 Parametry tiskárny EASY3DMAKER	31
4.5 Pomůcky k tisku.....	32

4.6	Příprava tisku	32
4.6.1	Program G3DMAKER	33
4.7	Tisk 3D modelu	35
4.8	Dokončovací operace vytištěného 3D modelu	39
5	Závěr	40
	Seznam použité literatury:.....	41
	Seznam obrázků:	44
	Seznam příloh:.....	46
	Příloha A – Schematický výkres modelu	47

Seznam použitých zkratk a symbolů

3D	Trojrozměrný
CAD	Computer Aided Design
SLA-1	StereoLitographic apparatus number 1
RP	Rapid Prototyping
SLA	Stereolitografie
UV laser	Ultrafialový laser
CO ₂	Oxid uhličitý
LOM	Laminated Object Manufacturing
SLS	Selective Laser Sintering
FDM	Fused Deposition Modeling
ABS	Akrylonitril-Butadien-Styren
PLA	Poly lactic acid - kyselina polymléčná)
PC	Polykarbonát
SLDPRT	Formát souboru v programu SolidWorks
STL	Standard triangulace Language - formát souboru
ZPR	ZPrint CAD - formát souboru
ObjDF	Objet Digital Format - formát souboru
Obr. č.	Obrázek číslo

1 Úvod

Téma technologie 3D tisku je aktuální. Jde o technologii, o které se v dnešní době hodně mluví a píše. 3D tisk je skvělým pomocníkem pro rychlou a levnou výrobu testovacích plastových kusů. Využívá se v různých oblastech průmyslu, elektrotechniky, ve zdravotnictví.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na problematiku výroby školních pomůcek pomocí 3D tisku, popisuje princip a problematiku 3D tisku. Technologie 3D tisku se začíná dostávat do výuky, kde se využívá k výrobě výukových pomůcek. Jak učitelé, tak i žáci a studenti se učí 3D modelování předmětů, modelů, které se vytisknou na 3D tiskárně.

Moderní zařízení – to jsou 3D tiskárny, které se využívají k výrobě konstrukčních modelů. Vytisknuté modely usnadňují výrobu různých prototypů. V současné době můžeme předpokládat stále častější využití 3D tiskáren. 3D tisk je prostorový tisk, který umožňuje výrobu trojrozměrných modelů.

Zdrojem tisku je počítačový model vytvořený pomocí CAD systému, 3D scanneru. Model je v počítačovém programu rozdělen na tenké horizontální vrstvy a odeslán na 3D tiskárnu. Ve většině případů tiskárna pak postupně nanáší materiál vrstvu po vrstvě. Nanášený materiál se postupně spojí do konečné podoby materiálu. Celý proces tisku trvá podle tvaru modelu několik minut až několik hodin. Stále pokračující vývoj nových technologií 3D tisku se čas postupně zkracuje. [1]

Tato bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části najdeme popsání jednotlivé technologie zpracování 3D tisku. Ve druhé, praktické části nalezneme postup výroby školní pomůcky a samotnou tisk výrobku na konkrétní 3D tiskárně.

2 Teoretický rozbor problematiky 3D tisku

3D tisk je v dnešní době považuje za největší posun v technologiích od vzniku internetu.

Vývoj 3D tisku začíná v 80. letech, který technologicky navazuje na klasické „papírové“ tiskárny. Za zakladatele 3D tisku je považován Charles Hull, který stojí za zrodem podoby dnešního trojrozměrného tisku. V tomto období se začíná zabývat zkoumáním tekutých polymerů, vedoucím ke vzniku 3D modelu. Tuto technologii si nechal v roce 1986 patentovat a nazval ji „Stereolitografie“. Charles Hull spolupracoval s 3D Systems. Společně vytvořili funkční prototyp první skutečné 3D tiskárny nazvané SLA-1 (StereoLitographic apparatus number 1). Tato první 3D tiskárna nenabízela takovou kvalitu a přesnost při tisku modelů jako současné tiskárny. Tak jako ve světě zobrazovacích technologií i pro průmyslové designéry se možnost zhmotnění jejich představ a nápadů stala obrovským milníkem.

Od vynálezu stereolitografie uplynulo už skoro třicet let. Za ten čas prošel 3D tisk velkým vývojem a našel své uplatnění v různých odvětvích výroby. Různorodost oborů podnítl vývoj nových technologických postupů při 3D tisku a tím i ovlivnil jeho vývoj. [2]

2.1 Aditivní technologie 3D tisku

Termínem Rapid Prototyping (RP) jsou označovány ty technologie, při kterých je výrobek vytvořen obvykle takzvaným vrstveným aditivním procesem. Při tomto způsobu výroby se materiál z polotovaru neodebírá s cílem získat konečný tvar výrobku ani se nepřidává najednou. Konečný tvar výrobku se získá poskládáním jednotlivých vrstev, na které je výrobek rozřezán.

Prototyp je vzorový výrobek, který přebírá některé charakteristiky sériově vyráběného výrobku. Je vyroben náhradní technologií, z náhradního materiálu. Jejich společnou předností je rychlost, s jakou dokážou vyrobit prototyp, který je zapotřebí vyzkoušet dříve, než se rozhodneme o jeho výrobě.

Náhradní technologie bývají ale dražší, než technologie výroby sériového dílu. Proto se nejprve vytvoří zkušební např. zmenšený či zvětšený model a následně pak přikročíme k výrobě funkčního prototypu. Právě 3D tiskárnou, která je moderním zařízením, můžeme využívat k výrobě nových modelů – prototypů, které mohou být zmenšené, zvětšené a zároveň funkční. Tyto prototypy ale nejsou většinou vhodné k většímu zatížení. Převážně

slouží k představě o vzhledu prvního, nového výrobku. Ne každá technologie pro 3D tisk umožní vytvoření přesných a odolných dílů, které jsou určeny pro funkční testy nebo dokonce pro výrobu konečného produktu. Je však možné mluvit o přímé výrobě součásti prototypu. Proto jsou tyto technologie označovány anglickým názvem rapid prototyping.[3] [4] [5]

O 3D tisku můžeme mluvit jako o podmnožině rapid prototypingu, kdy přímo z 3D modelu počítače uskutečníme návrh tisku a samotný tisk prototypu. Tento tisk je stejně snadný jako běžný tisk z počítače na papír. 3D tiskárny jsou zařízení, které nám umožňují vyrábět reálné třírozměrné modely, které jsme si předem vytvořili pomocí CAD (Computer Aided Design) programu.

Obecný princip zařízení spočívá ve vytvoření digitálního 3D modelu prototypu, rozložení tohoto modelu do tenkých vrstev (0,08 – 0,33 mm) a opětovné složení těchto vrstev do hmotného 3D modelu pomocí 3D tisku. Rychlost tisku a spotřeba materiálu pro tisk je ovlivněna složitostí a velikostí modelu, potřebnou kvalitou tisku a vnitřní výplní modelu. Vytvoření 3D modelu na 3D tiskárně je proces, kdy se vytváří trojrozměrný model.

V současné době 3D tiskárny využívají pro vytvoření trojrozměrných modelů jako materiál především plast, vosk, sádku nebo kov. Během času se vyvinulo několik druhů technologií výroby 3D tisku. Nejčastěji se setkáváme s technologiemi, které jsou vždy založeny na principu aditivní metody výroby. Toho se může dosáhnout pomocí několika různých metod, jako jsou tyto čtyři: SLA, LOM, SLS a FDM. [6] [7]

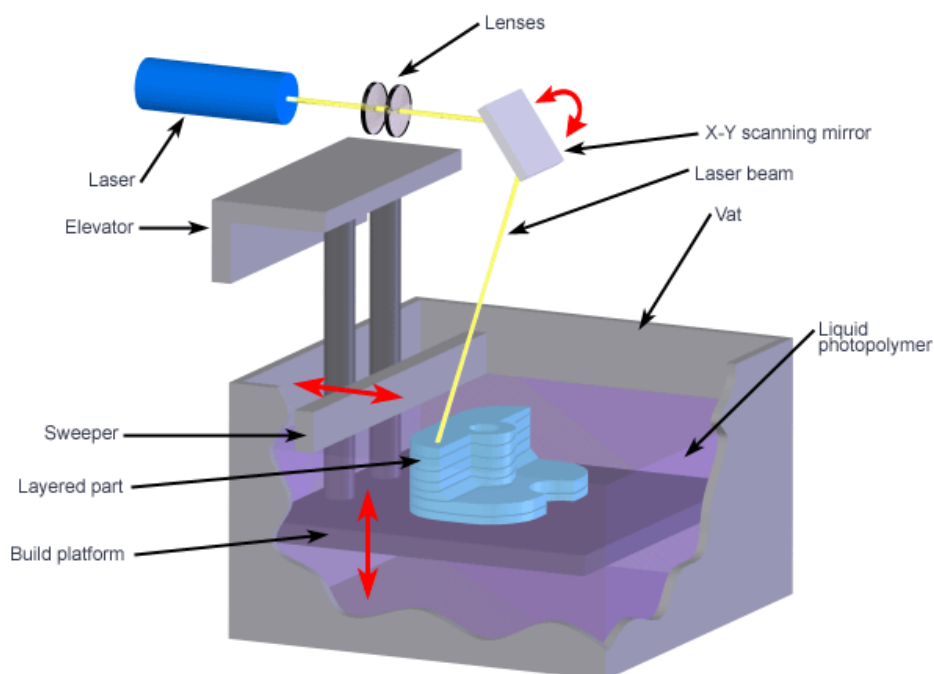
2.1.1 Stereolitografie (SLA)

Stereolitografie je označení velmi rozšířeného procesu 3D tisku, byla vynalezena a patentována na v roce 1986 Charlesem W.Hullem. Často je tato technologie považována za průkopníka v aditivních výrobních procesech. Principem SLA tisku je vytvrzování tekutého materiálu (polymerů) UV zářením v jednotlivých vrstvách, které postupně vykreslují 3D model (Obr. č. 1). Můžeme produkovat ohebné a průhledné části. [8]

Pohyblivá tisková plocha, je nejprve umístěn v poloze těsně pod povrchem nádoby, naplněné kapalinou fotopolymerní pryskyřice. Tento materiál se vlivem ultrafialového záření rychle mění z kapaliny na pevnou látku.

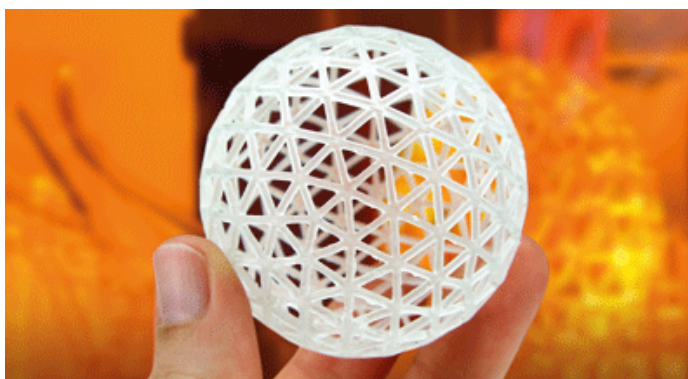
Laserový paprsek se pohybuje po povrchu kapalného fotopolymeru a sleduje geometrii průřezu modelu. To způsobí, že se tekutý materiál vytvrdí v místech, kde ho laserové

paprsky ozáří. Laserový paprsek se pohybuje ve směru osy X a osy Y. Informace jsou předávány přes počítač z CAD dat. Po vytvrzení jedné vrstvy (mezi 0,05 až 0,25 mm) se pohyblivý stůl sníží a nanese se další vrstva materiálu, který laser opět vytvrdí.



Obrázek č. 1 - Stereolitografie (SLA) [37]

Postupně se vytvoří celý 3D model. Pro stavbu tvarově složitějších modelů je zapotřebí budovat dočasné podpory, které se po vyhotovení modelu manuálně odstraňují. Jakmile je model hotový, tisková plocha ho vyzvedne z nádrže a přebytek tekutého materiálu je vyčerpán. Model se pak z tiskové plochy odstraní a umytím se odstraní přebytečný tekutý, nevytvrzený materiál. Nakonec se model umístí do UV pece pro konečné vytvrzení. Modely se pak dají dále obrábět, brousit nebo využít jako formu pro vstřikování plastů.

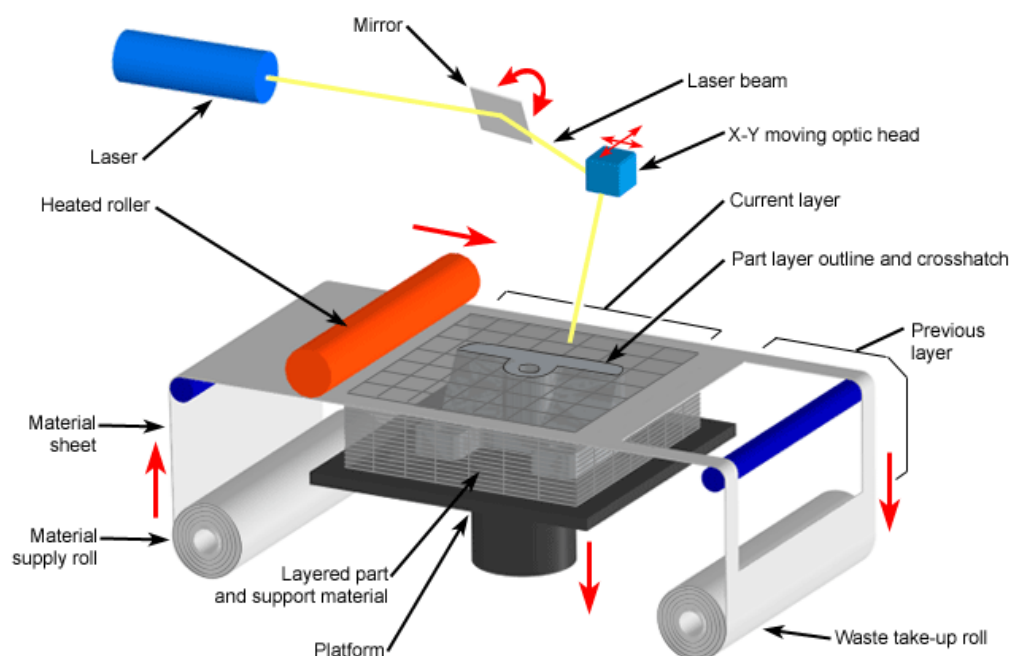


Obrázek č. 2 - Při stereolitografii vzniká model vytvrzováním pryskyřice. [38]

Nevýhodou jsou vyšší náklady této metody a nemožnost výběru materiálu. Zařízením pro stereolitografii je vlastní vyšší cena, což se týká také používaných materiálů. [9] [10] [11] [12]

2.1.2 Laminated Object Manufacturing (LOM)

Technologie Laminated Object Manufacturing je jedna z nejlevnějších technologií 3D tisku, což je výhodou. První systém této technologie byl dodán v roce 1991. Princip spočívá ve slepování vrstev lepícího papíru, plastu, nebo kovové fólie na sebe a následné tvarování modelu nožem nebo laserem CO₂ (Obr. č. 3).



Obrázek č. 3 - Vrstvené Object Manufacturing (LOM) [15]

Mezi hlavní součásti systému můžeme zařadit podávací mechanismus, který podává slepovaný list materiálu na pohyblivou desku přístroje. Materiál se odvíjí z role posuvu do zásobníku a váže se na předchozí vrstvu. Vyhřívaný váleček vyvíjí tlak a zároveň taví plastový povlak na spodní straně papíru pro vytvoření vazby. Profily jsou sledovány pomocí optického systému, který pracuje v ose X a ose Y. Protože tento proces vytváří značný kouř, je zapotřebí filtračního systému a dobře utěsněné komory, kde je umístěná tiskárna.

Poté, co je každý řez do materiálu dokončen, deska se snižuje o hloubku rovnající se tloušťce materiálu a druhý list je nanášen nad již dříve nanesené vrstvy. Deska pak mírně stoupá a vyhřívaný válec tlačí vázat novou vrstvu. Laserový paprsek řeže obrys a proces se opakuje, dokud není model dokončen.

Velkou nevýhodou je ale vznik přebytečného materiálu, který vzniká po vyříznutí každé z vrstev materiálu. Jde zhruba 50 % odpadu. Sběrový papír je navinut na navíjecí válec. To může být časově náročné odstranit další materiál pro některé geometrie. Obecně platí, že povrch, přesnost a stabilita vytisknutých papírových předmětů nejsou tak dobré jako u materiálů s jinými metodami RP.

Tato technologie je však nyní spíše na ústupu a využívá se převážně v architektuře a geografii. [13] [14] [15]



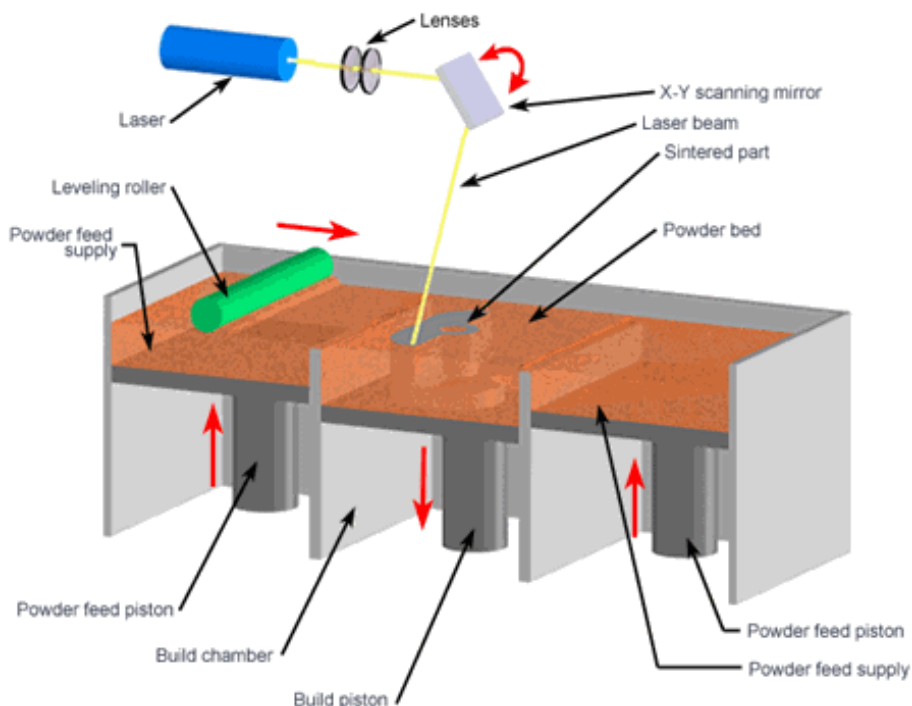
Obrázek č. 4 - Ukázky modelů vytvořené technologií LOM [39]

2.1.3 Selective Laser Sintering (SLS)

Technologie selektivního spékání laserem je současné době jedním z nejvyužitelnějších a nejekonomičtějších způsobů 3D tisku (Obr. č. 5). V praxi se setkáme s kratším termínem - „sintrování“. Technologii vyvinuli v polovině osmdesátých let vědci z texaské univerzity v Austinu. Jde ve své základní struktuře o podobnou technologii jako je stereolitografie.

Používají se zde různé druhy materiálu, který je možnost skladovat v nádobách v práškové podobě. Aby se prášek snadno taval laserem, udržuje se při zvýšené teplotě. Přívod prášku v systému se skládá z válce a pístu. V tomto případě se píst pohybuje směrem nahoru a postupně dodává jen dostatek prášku pro jednu vrstvu v procesu sestavení. Prášek se v přístroji šíří prostřednictvím protiběžného válce, po povrchu stavební desky. Píst u stavební desky se pohybuje dolů o jednu tloušťku vrstvy prášku. Po tenkých vrstvách na přídavný materiál působí laserový paprsek, který se pohybuje ve

směru osy X a osy Y. Vysoká teplota prášek roztaví a vytvoří tak z něho pevnou hmotu výsledného modelu. Poté, co je předmět zcela vytvořen, píst se zvýší na výšku modelu.



Obrázek č. 5 - Selective Laser Sintering (SLS) [19]

Přebytečný prášek se jednoduše setře a model je připraven pro další úpravu, kdy se provádí sekundární obrábění a dokončovací práce. To však může trvat poměrně dlouho, než se model ochladí natolik, aby mohl být odstraněn z tiskárny.



Obrázek č. 6 - Detail hotového výrobku po tisku metodou SLS [40]

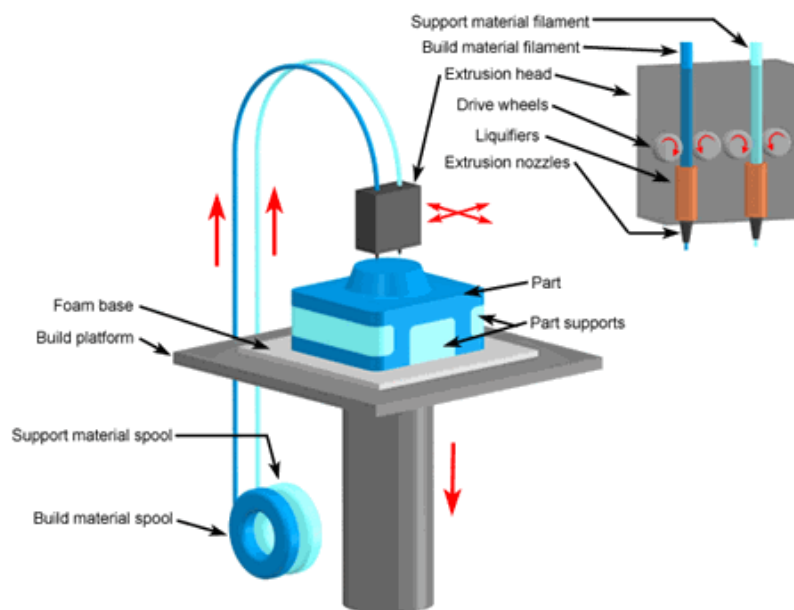
Modely z těchto tiskáren jsou velmi přesné, avšak pořízení a provoz těchto tiskáren bývá velmi nákladný. Tato technologie má také několik výhod. Jednou z nich je možnost opětovného použití přebytečného materiálu na další tisk, tím se několikanásobně sníží

náklady. Další výhodou je možnost přidat příměs barevného pigmentu do práškového média a tím dosáhnout barevného tisku. Další, neopomenutelnou výhodou je možnost použití různých druhů materiálů (např. plastů, kovů, keramiky, skla).

Tato technologie se využívá především v medicíně nebo v automobilovém a strojírenském průmyslu (Obr. č. 6). SLS technologie je ideální pro výrobu prototypů a pro koncové užívání výroby. [16] [17] [18] [19]

2.1.4 Fused Deposition Modeling (FDM)

Termoplastická metoda vytlačování se stala nejrozšířenější a nejlevnější technologií na trhu pro systém 3D tisku, která byla vyvinuta v Eden Prairie v Minnesotě. Jde o docela rychlou metodu pro tištění malých dílů, ale může být velmi pomalá pro součásti s širokým průřezem. Princip této technologie je jeden z nejjednodušších a proto i náklady na něj jsou nízké (Obr. č. 7). Tento druh velmi napomohl 3D tiskárnám aby pronikly jak do malých firem, tak i k domácím uživatelům.



Obrázek č. 7 - Fused Deposition Modeling (FDM) [41]

Proces FDM začíná softwarem, který určuje, jak nanášená vrstva bude silná, jaké množství bude čerpat na každou vrstvu modelu. FDM tiskárny standardně používají pouze jednu tiskovou hlavu, ale mohou mít také dvě nebo více tiskových hlav, díky čemuž je možné vytisknout vícebarevný model.

U FDM procesu se plastové vlákno odvíjí z cívky, pomocí motorku je materiál dodáván do vytlačovací trysky v tiskové hlavě. Tryska obsahuje odporové ohřívače, které udržují plast při teplotě těsně nad jeho teplotou tání (v rozmezí mezi 170 a 240 °C) tak, aby se snadno protlačil. Následně se vlákno rychle ochlazuje a spojuje s vrstvou pod ní. Tryska se pohybuje v horizontálním i vertikálním směru v ose X, ose Y a v ose Z. Někteří výrobci místo pohyblivé trysky pohybují v ose X, Y pracovní deskou.

Tisková hlava kreslí 3D model, na místo inkoustu používá roztavený materiál. Jakmile je jedna vrstva modelu vytvořena celá, tisková plocha se snižuje vertikálně ose Z o nastavenou výšku. Vytlačování materiálu z trysky pokračuje až do vytvoření celého modelu. Tímto způsobem je model vytvořen jednu vrstvu po druhé, od zdola nahoru.

K vytvoření modelu touto technologií je k dispozici řada materiálů, které se obvykle navíjí na papírové či plastové cívky. Vlákná používaná do FDM tiskárny jsou hlavně termoplasty. Nejčastější materiály, které pro tuto technologii jsou ABS, PLA, a polykarbonát (PC). PLA je nejvhodnější pro domácí 3D tisk, protože má biologickou rozložitelnost, a nevydává nepříjemné chemické výpary během tisku. Používaný materiál nabízí větší pevnost a širší spektrum materiálů, i když tato technologie nabízí plně barevný výstup (Obr. č. 8). Ve chvíli, kdy je celý model vytisknutý, tak se odstraní manuálně z pracovní desky, která může být v některých případech i vyhřívaná.

Tato technologie nabízí lepší povrchové úpravy a jiný a poněkud širší škálu materiálů. Tato technologie sice nenabízí kvalitu tisku jako při předešlých systémech, které již byli zmíněny, přesto si svou nízkou cenou získává stále více zájemců.

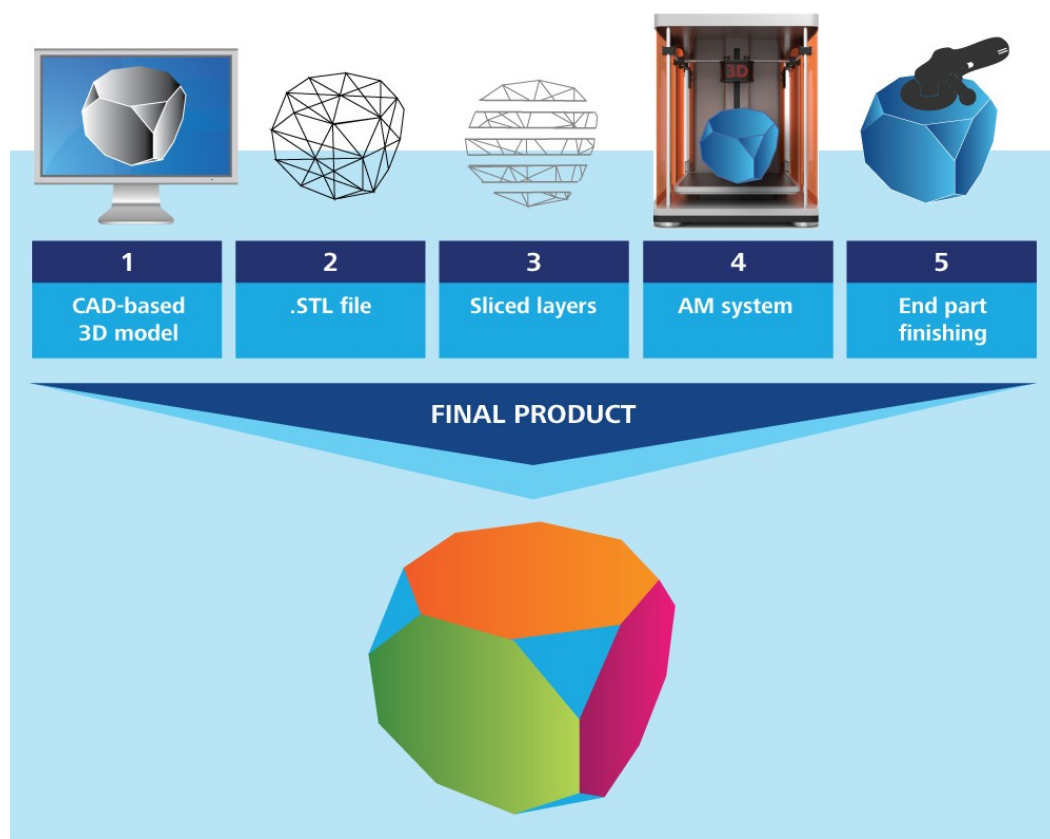
Nejrozšířenější a cenově nejdostupnější technologie, se kterou se často setkáváme při prezentacích prototypů a vzorků různých výrobků. 3D tiskárna technologie FDM vyrábí pevné a tvarově stálé modely. [20] [21] [22] [23]



Obrázek č. 8 - Detail hotového výrobku po tisku metodou FDM [40]

3 Obecný postup výroby 3D modelu pomocí 3D tisku

Jednotlivé technologie mohou používat různé materiály a různé techniky pro výrobu 3D modelu. Bez ohledu na druh, velikost a složitost 3D modelu, proces výroby prochází různými fázemi, které jsou společné pro všechny aditivní metody 3D tisku. Bez ohledu na to, jaká technologie 3D tisku se používá, celý postup je u všech modelů téměř totožný.



Obrázek č. 9 - Process Cykle [42]

Výše uvedený obrázek č. 9 představuje základní datový tok procesů souvisejících s 3D tiskem.

3.1 Krok 1: CAD model

Pro výrobu 3D modelu se používá navrhovaný počítačový software CAD systémů. Existuje několik druhů software pro 3D modelování, které se mohou použít.

Tento software nám umožní vytvořit 3D model části, jak ji lze očekávat v konečném stavu výrobku, také za použití určitých materiálů lze vytvořit simulace, jak se výrobek

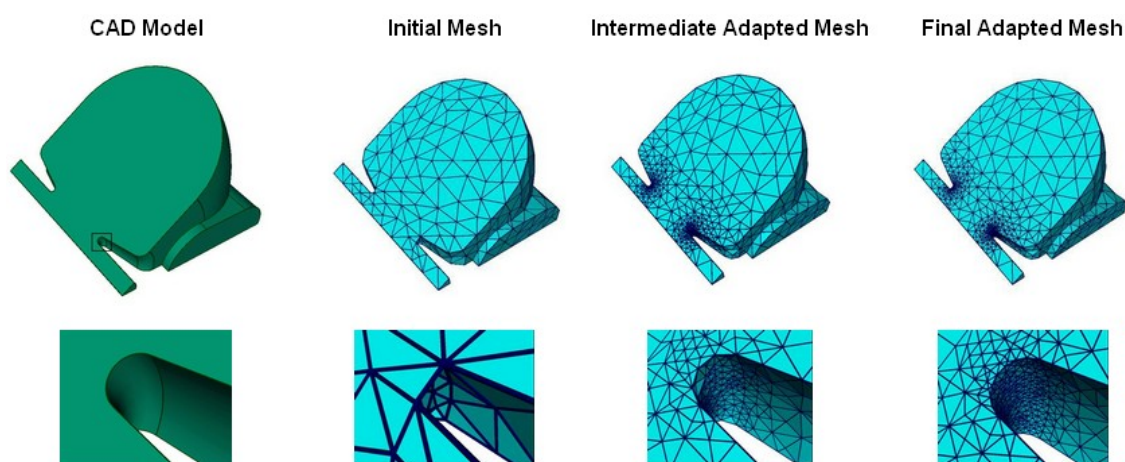
bude chovat za určitých podmínek. Většina těchto programů podporuje export do formátu STL. [24] [25]

3.2 Krok 2: Přeměna 3D CAD modelu do STL formátu

Každá forma CAD softwaru ukládá geometrická data reprezentující 3D model různými způsoby.

Soubory, které jsou generovány velkým množstvím dostupných CAD softwaru (komerční i volně dostupné), mohou mít různé výstupní formáty, jako je STL, ZPR, ObjDF. Standardem a nejčastěji používaným formátem pro aditivní procesy tisku 3D modelů je od roku 1987 formát STL (Standard triangulace Language), který byl původně vyvinutý pro stereolithografii.

CAD soubory musí být převedeny do tohoto STL formátu, který reprezentuje povrch 3D modelu jako soubor trojúhelníků různých velikostí v závislosti na požadovaném rozlišení. Čím vyšší rozlišení, tím menší bude velikost trojúhelníků, lepší profil modelu, tím delší bude čas, který bude vyžadován u výpočtového modelu. Jde se o tzv. model Mesh (Obr. č. 10).



Obrázek č. 10 - Model Mesh [24]

Software pak STL model rozdělí do velmi tenké vrstvy podél roviny osy X a osy Y. Každá vrstva bude postaven na předchozí vrstvy, pohybující se nahoru ve směru osy Z. Pro 3D tisk je nezbytné, aby byly všechny normály správně nastaveny směrem ven z daného objektu. [24] [25]

3.3 Krok 3: Přenos STL souboru a nastavení přístroje

Vytvořený STL soubor uživatel zkopíruje do počítače, ve kterém je software pro ovládání 3D tiskárny. Každá 3D tiskárna má své vlastní požadavky na to, jak se připravit na novou tiskovou úlohu. To zahrnuje doplňování polymerů, pojiva a další spotřební materiál, který bude tiskárna používat.

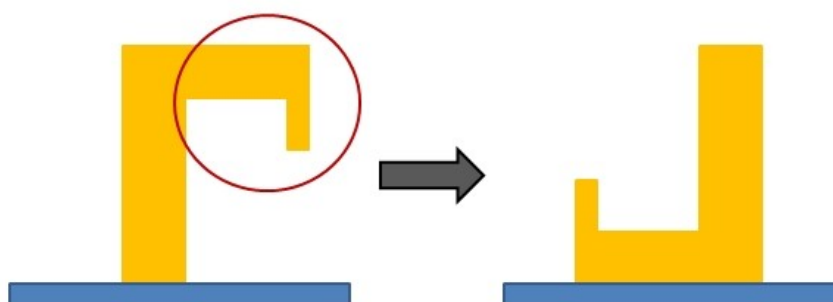
3D tiskárna staví části modelu postupným vytvořením vrstev materiálu na vrcholu dříve vytvořených vrstev. Technika, která je používána k vytvoření každé vrstvy se liší mezi jednotlivými druhy technologií 3D tisku, stejně jako se i liší používaný materiál pro vytvoření 3D modelu. Jednotlivé technologie mohou použít papír, polymery, práškové kovy, kovové kompozity, v závislosti na postupu.

Pomocí specializovaného softwaru pro 3D tisk můžeme určit velikost a orientaci pro 3D modelu pro tisk. [24] [25]

3.4 Krok 4: Orientace modelu

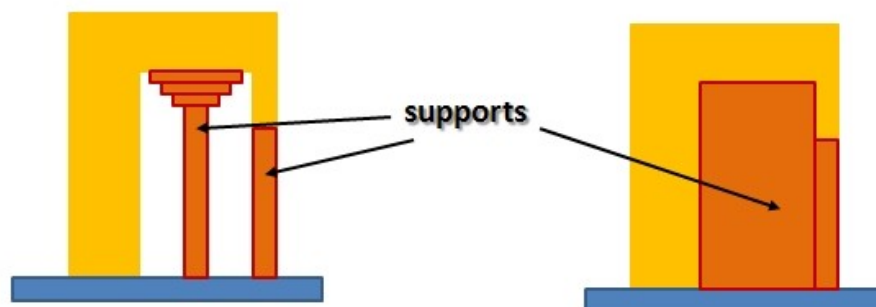
Všechny prototypy jsou založeny na tisku pevných 3D modelů. Model musí být vyroben ze základny až na vrchol přidáním jednotlivých vrstev materiálu na sebe. Množství materiálu pro tisk a požadovanou kvalitu tisku silně ovlivňuje volba orientace umístění, ve které chceme vytisknout model. Každá část modelu má být vyrobena tak, aby byla řádně podporována vrstvou nanesenou dříve.

V případě, že má model vyčnívající části, záleží na tom, jakou stranu modelu zvolíme za základnu pro tisk modelu (Obr. č. 11). Volba konkrétní orientace značně usnadní proces tisku a zároveň snižuje počet potřebných podpěr pro tisk.



Obrázek č. 11 - Orientace 3D modelu je důležitým faktorem [24]

Pomocné podpěry se mohou vytvořit již v CAD softwaru nebo v softwaru určeném pro ovládání 3D tiskárny. Podpěry vytvořené v CAD softwaru budou další částí u vymodelovaného 3D modelu, který bude tiskárna spolu s ním vytvářet. V procesu dokončení těchto pomocných nosičů musí být při dokončovací oprávnění z 3D modelu odstraněny.



Obrázek č. 12 - podpěry jsou další díly pro model [24]

U některých metod podpora bývá z jiného materiálu, než je prototyp 3D modelu (Obr. č. 12). To pak umožňuje snadnější odstranění pomocných podpěr při dotváření konečného tvaru 3D modelu.

V závislosti na technice nebo na povaze použitého materiálu, může pomocná podpora buď zcela vyplňovat chybějící tvar modelu, nebo může být vytvořena v minimální velikosti ve formě sloupců. [24] [25]

3.5 Krok 5: Převádění 3D modelu na sadu instrukcí pro tiskárnu

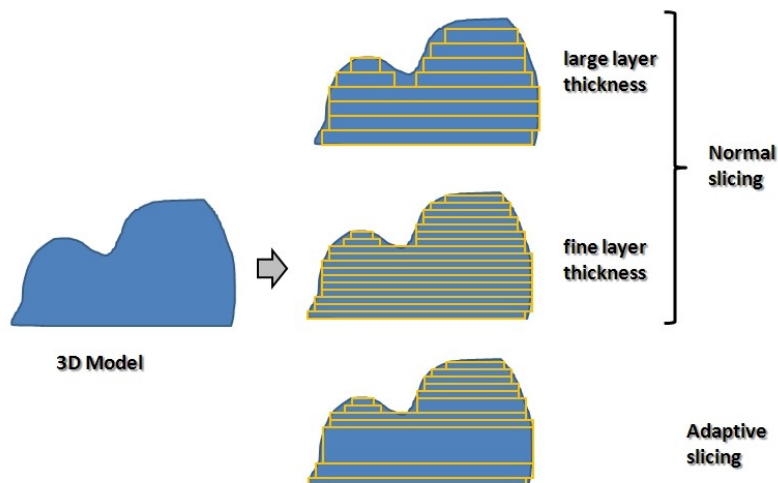
Celý tento postup je prováděn automaticky a začíná nakrájením objektu na jednotlivé tiskové vrstvy. Tím ale zdaleka nekončí. Pro jednotlivé vrstvy se počítá průběh tiskové hlavy a množství plastu, který se má vytlačovat. Může také zahrnovat rychlost vytlačování zmíněného materiálu.

Tato činnost je poměrně náročná na hardwarové vybavení počítače. U složitějšího modelu může převedení na tiskové vrstvy trvat i několik hodin.

Pokud chceme vyrobit trojrozměrný model, je nutné vytvořit do materiálu vrstvy, z nichž každý bude mít jiný tvar. Téměř všechny aditivní technologie jsou založeny na konceptu nanášení vrstev materiálu za vzniku pevné látky v plném rozsahu. Sestavení je většinou provedeno automaticky. Každá vrstva je obvykle o tloušťce asi 0,1 mm, ale může

být mnohem slabší nebo silnější (Obr. č. 13). Na tloušťce vrstev a na zakřivení povrchů modelu však závisí. Čím menší je tloušťka každé vrstvy, tím lepší je tisk, hlavně zakřivených ploch. Tyto vrstvy jsou transformovány do materiálu, jedna ulpívá na druhé. Po dokončení 3D tisku model vypadá podobně jako v digitální verzi.

I tento proces jako předchozí se provádí pomocí specifického softwaru, který je schopen vytvářet a optimalizovat všechny vrstvy, ze kterých se trojrozměrný model bude skládat. [24] [25] [26]



Obrázek č. 13 - Trojrozměrný model je rozdělen do překrývajících vrstev [24]

3.6 Krok 6: Demontáž

Tištěný model (nebo více modelů) je odebrán z 3D tiskárny. Je zapotřebí ho vzít co nejpečlivěji, aby se zabránilo zranění a zároveň poškození vytištěného modelu. V některých případech aditivního 3D tisku je nutné dodržovat bezpečnostní opatření, aby nedošlo ke zranění obsluhy. Někdy je třeba při odebírání modelu nosit ochranné rukavice. Obsluha 3D tiskárny se tak chrání před horkými povrchy modelu nebo před toxickými chemikáliemi. [24] [25]

3.7 Krok 7: Post-processing modelu

Poté, co je 3D model vytištěn a odebrán z tiskárny, bude vyžadovat určité následné úpravy, ať už se jedná o odstranění zbývajících prášku, lepidla. Mohou být prováděny také

povrchové úpravy, jako je pilování, broušení s cílem zlepšit vzhled a trvanlivost na součásti nebo odstranění všech pomocných podpěr.

Je třeba při tomto kroku dávat pozor, aby se vytištěný model nepoškodil, nezlomil či nerozpadl vlivem nadměrné síly. [24] [25]

3.8 Krok 8: Aplikace 3D modelu

3D model je vytištěný, technicky upravený pro další využití. [25]

4 Praktický tisk výukové pomůcky pomocí FDM technologie

Na 3D tiskárně je možné tisknout jednotlivé díly, které se po dokončovací úpravě mohou složit dohromady a vytvořit tak 3D sestavu. Žák si již nemusí součástku, kterou má narýsovat a vyrobit složitě představovat, ale jednoduše si ji nejprve vytiskne.

Podnětem pro tvorbu 3D modelu bylo vytvoření modelu podle výkresové dokumentace, určené pro výuku technické dokumentace a odborného výcviku.

4.1 Tiskový materiál pro tiskárnu EASY3DMAKER

Při konkrétním použití aditivní technologie 3D tisku se používá určitý typ materiálu. Vhodnost daného materiálu je určený typem modelu tiskárny a 3D modelem, který chceme tisknout. Zároveň u každého materiálu pro 3D tisk rozlišujeme doporučené parametry tavné teploty, tiskové rychlosti a posuvu materiálu. Je třeba vždy brát uváděné údaje jako orientační.

Materiály, které se dají použít pro zvolenou 3D tiskárnu a které podporuje, jsou dva. Jde o materiál ABS nebo PLA, mezi kterými si můžeme vybrat. [27]

4.1.1 ABS (Akrylonitril Butadien Styren)

ABS, neboli Akrylonitril-Butadien-Styren je termoplastický materiál, je jedním ze dvou základních materiálů, který se používá k tisku v 3D tiskárnách EASY3DMAKER. Tento materiál je zdravotně nezávadný, odolný vůči vysokým i nízkým teplotám. Je rovněž odolný proti mechanickému poškození. Nevýhodou tohoto materiálu je, že při ochlazování může docházet k narušení povrchu materiálu.

Velkou výhodou je nízká závislost na přesném nastavení tiskové hlavy 3D tiskárny a odolnost 3D modelů.



Obrázek č. 14 - Tisková struna ABS červená

Tento materiál je dodáván na špulce ve formě drátu, který má různé barvy (bílá, modrá, červená, zelená, černá). Tisková teplota je kolem 230 - 250 °C. Materiál se dá snadno opracovávat pilováním, broušením, vrtáním a ostatními běžnými obráběcími technikami. Malé modely je třeba tisknout na základní mřížku, aby se i menší objekty neodtrhávaly od tiskového stolu, u velkých modelů zvolíme vhodnou základní stranu, kterou začneme tisk.

Materiál ABS lze doporučit jako materiál pro zkušební výtisky 3D modelů. Pro své vlastnosti je využívaným technickým plastem pro výrobu široké škály produktů od domácích potřeb, hraček či hudebních nástrojů až po díly v automobilovém průmyslu. [28] [29] [30]

4.1.2 PLA (Poly Lactic Acid)

PLA (Poly lactic acid - kyselina polymléčná) je univerzálnějším tiskovým materiálem. Při zahřátí roztaje, při ochlazení ztuhne, je také vhodný i pro tisk velkých objektů. Zachovává si svoji pružnost, tvrdost a odolnost jako jiné plasty. Materiál je vyroben z obnovitelných zdrojů (bramborový nebo kukuřičný škrob, cukrová třtina). Jde o zdravotně nezávadný materiál a je možné ho ekologicky likvidovat. Pro účely 3D tisku je tento materiál dodáván obvykle ve formě drátu (Ø 1,75 - 3 mm). Doporučená teplota pro tisk je 190 – 210 °C.

Nevýhodou tohoto materiálu je, že ve vlhkém prostředí pohlcuje vlhkost, což se na povrchu modelu projevuje bublinami. Vytisknutý model je ale pevný a vrstvy jsou kvalitně spojené. Model vytisknutý z tohoto materiálu lze opracovávat ručními způsoby pro dokončení tvaru.



Obrázek č. 15 - Tisková struna PLA bílá

PLA je snadno a rychle zpracovatelný, nicméně výrobky z něj jsou méně odolné vůči vyšším teplotám, protože začínají měknout (při 60°C). Proto nelze model z tohoto materiálu např. strojně brousit.

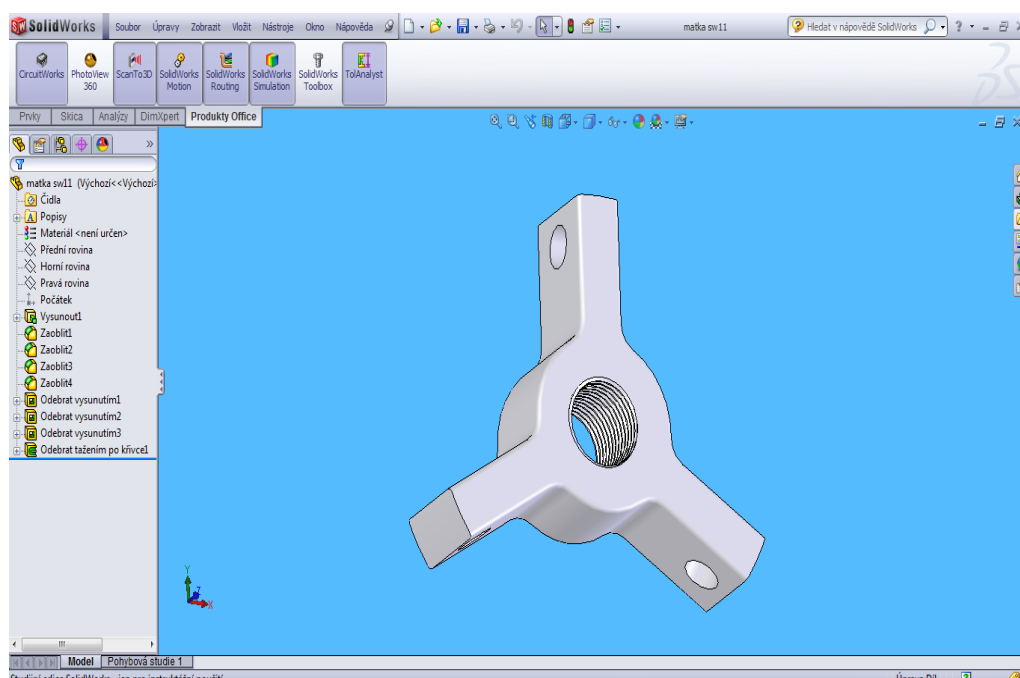
Tento materiál je dodáván v neprůhledných i průhledných variantách a v různých barevných odstínech. Jde o univerzální materiál pro všechny typy výtisků, u zvolené 3D tiskárny nevyžaduje použití vyhřívané podložky pro lepší přilnutí k tiskové podložce. Při tavení materiálu se produkuje vůni připomínající smažení rostlinného oleje. Vytisknuté modely jsou méně náchylné k deformacím, a mají vyšší lesk. [29] [31] [32]

4.2 Výroba modelu součásti

Aby se žáci 2. ročníku oboru nástrojař naučili pracovat na konvenčních a CNC strojích vyrábějí různé díly a sestavy. Pro to, aby si někteří žáci byli schopni představit, jak některé díly a sestavy vypadají, napomáhá jim v tom 3D model vytisknutý na 3D tiskárně.

Pro tuto bakalářskou práci je zvolen model, který je pouze jedním dílem ze sestavy tříramenného stahováku. Jde o díl matice.

Pro tisk dílu bylo zapotřebí vytvořit odpovídající 3D model s použitím dostupných softwarových programů. SolidWorks je konstrukční software pro tvorbu technické dokumentace. Nabízí možnost vytvoření 3D modelu v několika verzích programu.



Obrázek č. 16 - SolidWorks 2011, model matice

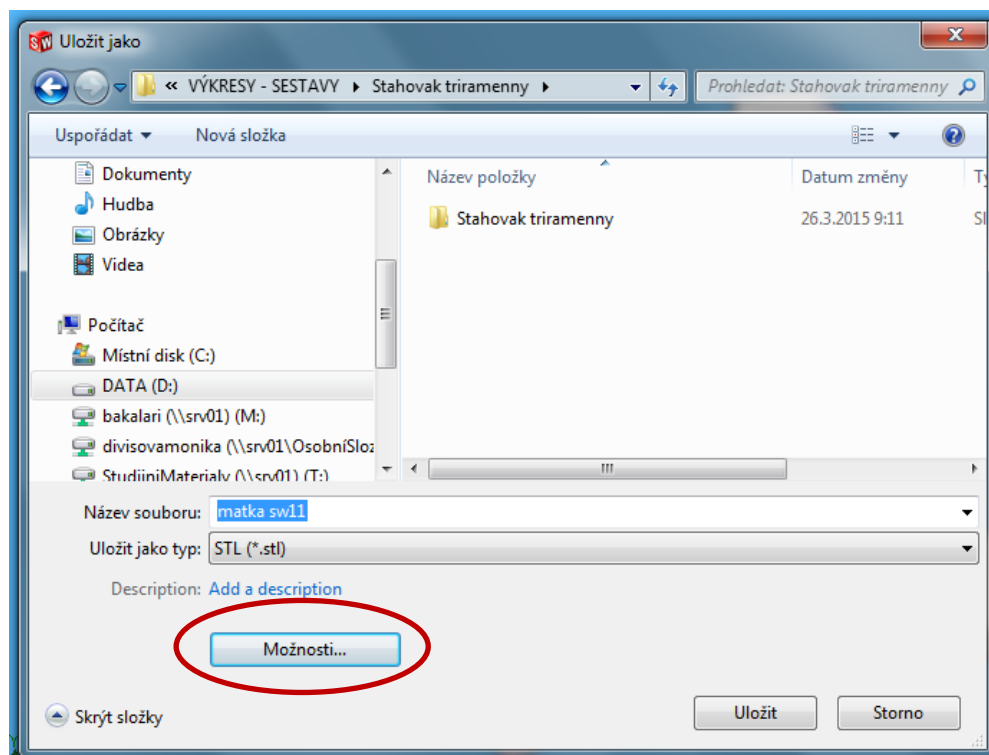
Při srovnávání dvou verzí programu SolidWorks verze 2005 a 2011 je možné vysledovat vývojové úpravy programu. Jakmile jsou programy spuštěny, od prvního pohledu je vidět mezi nimi rozdíly.

Pro tuto bakalářskou práci byl vytvořen model matice v programu SolidWorks 2011 (Obr. č. 16), který je novější a nabízí více možností v nastavení vlastností ovladačů oproti verzi 2005.

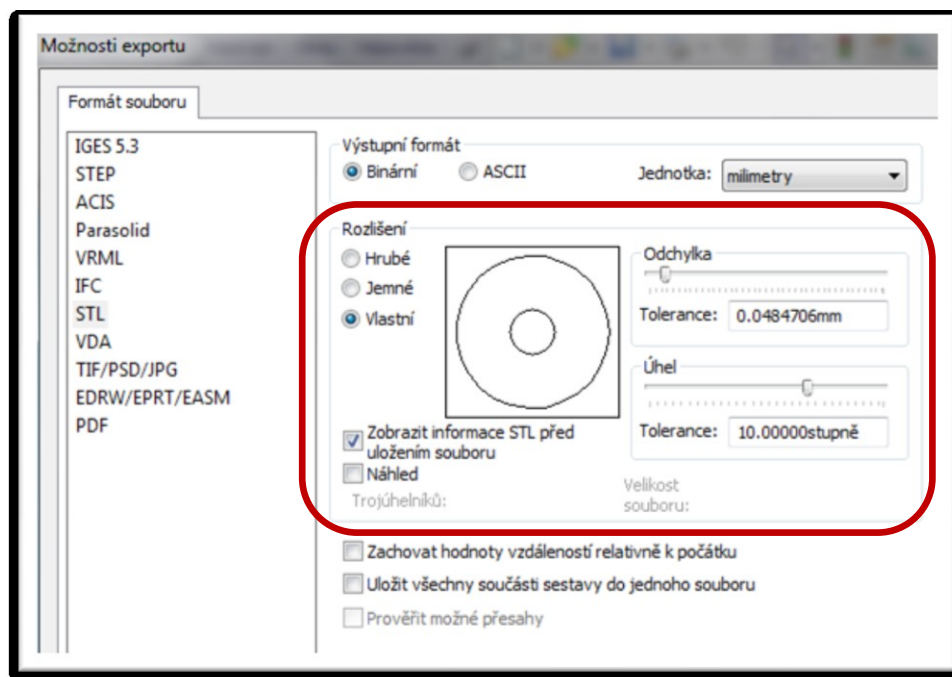
Abychom vytvořili model součásti, nejprve je vytvořena skica modelu a posléze je pomocí prvků vytvořen samotný model. Ten je uložen jako SLDPRT formát.

4.3 Převod modelu do STL formátu

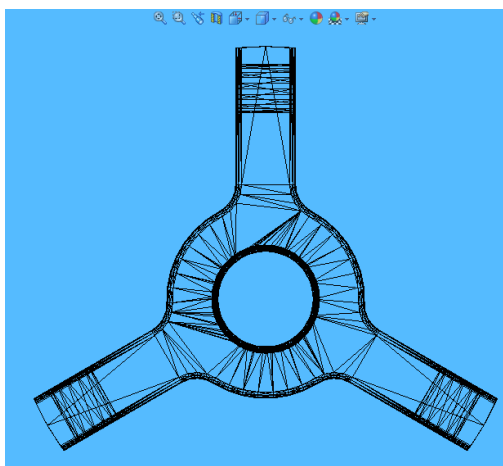
Jakmile je hotový 3D model v programu SolidWorks a je uložen pod konkrétním názvem, následuje vygenerování modelu a uložení do STL formátu souboru. Lze tak učinit pomocí příkazu ULOŽIT JAKO. V programové verzi 2005 se nevyskytují žádné další možnosti nastavení pro uložení souboru do STL formátu. U programu verze 2011 je už nabídka MOŽNOSTI (Obr. č. 17), kde lze nastavit ROZLIŠENÍ (Obr. č. 18) – hrubé, jemné a vlastní před uložením souboru do STL formátu a připravit tak soubor na 3D tisk. Model byl uložen pod stejným názvem do souboru s příponou STL.



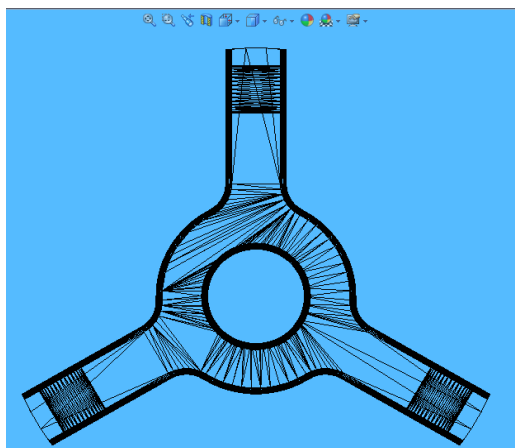
Obrázek č. 17 - SolidWorks 2011, Uložit jako STL formát



Obrázek č. 18 – SolidWorks 2011, Možnosti exportu



Obrázek č. 19 - SolidWorks 2011, Možnosti exportu - hrubé rozlišení



Obrázek č. 20 - SolidWorks 2011, Možnosti exportu - jemné rozlišení

4.4 Popis zařízení pro 3D tisk - tiskárna EASY3DMAKER

Tiskárna EASY3DMAKER je dodávána sestavená. Kovová konstrukce zajišťuje její větší výdrž, použité konstrukční materiály zaručují stabilitu a spolehlivost. Součásti tiskárny jsou vyrobeny z kvalitních materiálů. Namáhané součásti jsou upraveny tak, aby vydržely při dlouhém provozu tiskárny.



Obrázek č. 21 - EASY3DM AKER

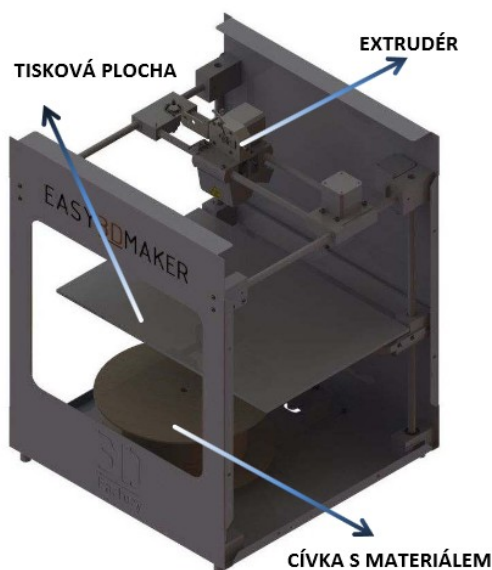
Tiskárna EASY3DMAKER patří do střední třídy 3D tiskáren, která poskytuje dostatečnou přesnost. Její výhodou je otevřený tiskový prostor, takže lze dobře sledovat postupné vytváření tištěných modelů. Můžeme pozorovat, jak vzniká 3D model vrstvu po vrstvě. Díky jednoduchému softwaru, který je dodáván společně s 3D tiskárnou je ovládání snadné.

Velikost tiskové plochy je 200 mm x 200 mm a výška 230 mm. Načtený model můžeme zmenšit, zvětšit, otočit podle potřeby pro snadnější tisk. Model můžeme tisknout s rozlišením vrstvy 0,08 mm / 0,125 mm / 0,25 mm.

U tiskárny je rovněž možné zvolit trysku o průměru 0,5 mm, 0,3 mm, 0,2mm. Průměr trysky ovlivňuje výslednou kvalitu modelu. Tryska o průměru 0,5 mm tisk zrychlí, trysky o průměru 0,3 mm a 0,2 mm umožňují vytvořit jemnější vrstvy materiálu. Optimální pro většinu tisku modelů je tryška o průměru 0,3 mm, která je rovněž na používané tiskárně.

K tiskárně je přes USB kabel celou bobu tisku připojený notebook s řídicím softwarem. Software umí přesně zobrazit tisknutý model i průběh tisku. Přesto, že je tisk přesný, součásti je nutné po vytištění pomocí dokončovacích prací upravit. Po sestavení součástek je modelu funkční.

Jako tiskový materiál se používá struna, která má průměr 1,75 mm. Před zahájením tisku je možné si zvolit mezi ABS a PLA materiálem, který je navinut na cívce. [33] [34]



Obrázek č. 22 - Popis součástí tiskárny [43]

4.4.1 Parametry tiskárny EASY3D MAKER

Tisková plocha:	osa X 200 mm, osa Y 200 mm, osa Z 230 mm
Rychlost tisku:	80 mm/s
Rychlost posuvu:	230 mm/s
Rozlišení tisku:	0.25 / 0.125 / 0.08 mm
Rozměrová tolerance:	0.1 mm
Zdroj:	adapter 24V 5A
Průměr trysky	0,3 mm
Příkon:	180W
Hmotnost:	16 kg
Vnější rozměry:	400x400x500mm
Maximální teplota:	max 280 ° C
Tiskový materiál:	ABS / PLA
Vyhřívaná podložka:	NE
Používaná technologie	FDM

4.5 Pomůcky k tisku

Všechny pomůcky jsou dodávány společně s 3D tiskárnou nebo je můžeme samostatně dokoupit.

Jako pomůcku pro lepší přilnavost tištěného modelu k tiskové ploše je používáno speciální 3D lepidlo - 3D Glue, které zabrání deformaci tištěného modelu při tisku. Tenkou vrstvu lepidla je rozetřena štětečkem v místě tisku 3D modelu, které jsme si zvolili na tiskové ploše.



Obrázek č. 23 - 3D lepidlo - 3D Glue [43]

Velmi vhodné je použití tohoto lepidla, pokud se pro výrobu modelu používá ABS materiál. Tento materiál je náchylný k odlepování od tiskové plochy. I pro materiál PLA lze základní desku jemně potřít.

Po ukončení tisku samotný 3D model odstraníme z tiskové plochy pomocí modelářského zalamovacího nože nebo špachtle.

4.6 Příprava tisku

Postup přípravy modelu pro 3D tisk není náročný. Model lze připravit v celé řadě modelovacích programů. Po vytvoření modelu v programu SolidWorks lze z tohoto programu exportovat model do formátu STL a ten poté snadno otevřít v programu G3DMAKER, který je součástí dodávky s 3D tiskárnou.

Než se začne tisknout 3D model, je zapotřebí před zahájením tisku provést několik následujících úkonů. Musíme zkontrolovat, zda je plocha pro tisk čistá a nejsou na ní pozůstatky předešlého tisku. Pokud nalezneme nečistoty, musíme je z plochy odstranit, aby nově tištěný model dostatečně přilnul k tiskové ploše. Zároveň je třeba zkontrolovat, zda je

tisková plocha správně připevněná. Následuje kontrola trysky, která má průměr 0,3 mm, zda je čistá a nepoškozená. Pro tisk je použita struna z materiálu PLA, o průměru 1,75 mm, modré barvy. Aby byl dobře 3D model vytištěn a nedošlo k přetržení struny během tisku, zkontroluje se rovněž správné zavedení struny do trysky a samotný zásobník struny. Po všech kontrolách je možné přistoupit k nastavení programu pro 3D tisk.

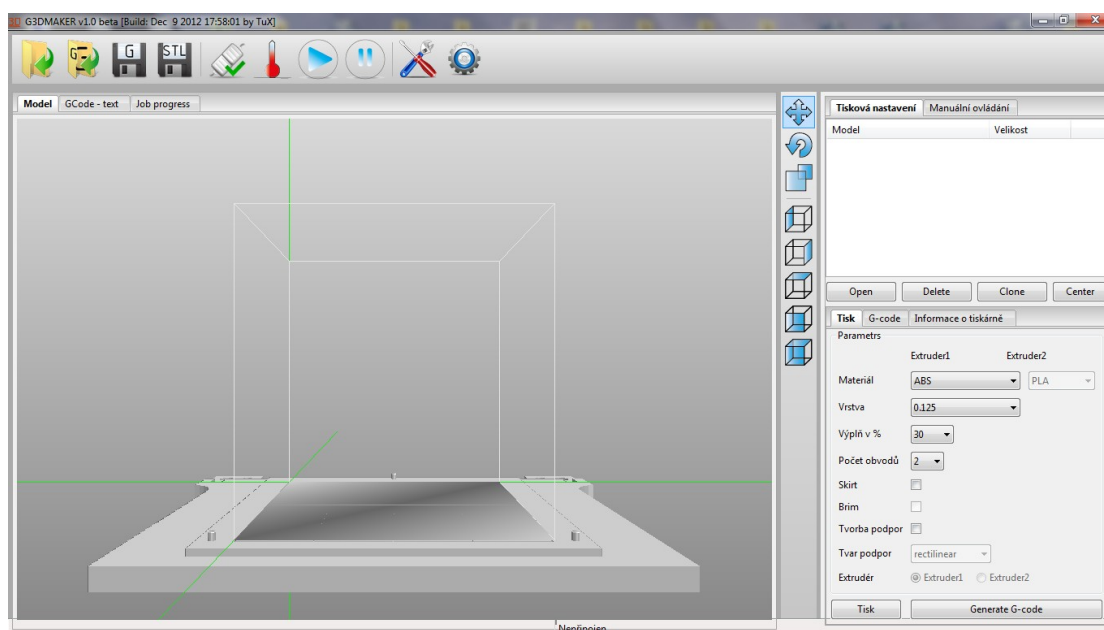
Program G3DMAKER je uživatelsky snadný a nenáročný software. Uživatel rychle ovládne nastavení programu a připraví model pro tisk. G3DMAKER umožňuje sledovat průběh tisku jednotlivých vrstev ještě před jeho zahájením. Je možné prohlédnout si vrstvu po vrstvě, jak bude model tvořen.

Tloušťku vrstvy lze nastavit na 0,08 mm pro nejjemnější, ale časově nejnáročnější tisk, na 0,125 mm pro střední kvalitu při přijatelné rychlosti nebo na 0,25 mm pro nejrychlejší, ale hrubý tisk.

Pro úsporu materiálu a odlehčení modelu je možné si zvolit stupeň výplně modelu od 0 do 100 %. Tato volba také ovlivňuje délku tisku. [35] [36]

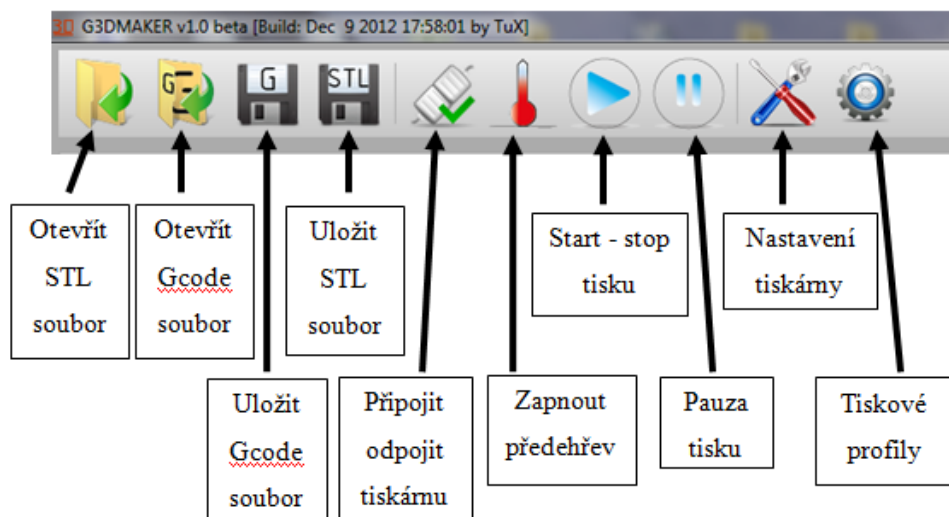
4.6.1 Program G3DMAKER

Software G3DMAKER dodaný s tiskárnou je snadno použitelný program. Jedná se o program, který převede 3D model, který je uložený v STL formátu, do formátu pro 3D tisk na 3D tiskárně.



Obrázek č. 24 - Úvodní okno programu G3DMAKER [44]

Rovněž pomocí tohoto programu dochází k ovládání 3D tiskárny. Po spuštění programu se otevře úvodní okno (Obr. č. 24), ve kterém nalezneme základní nástrojovou lištu (Obr. č. 25). Na základní nástrojové liště jsou ikony pro otevření a uložení souboru, který chceme tisknout. Další ikony, které jsou na základní nástrojové liště, umožňují připojit 3D tiskárnu k počítači a provést samotné nastavení tiskárny a nastavení tiskových profilů. Také zde nalezneme ikony, které ovlivňují samotný tisk. Ikona pro zapnutí předehřevu tiskové trysky, start – stop tisku, pauza tisku.



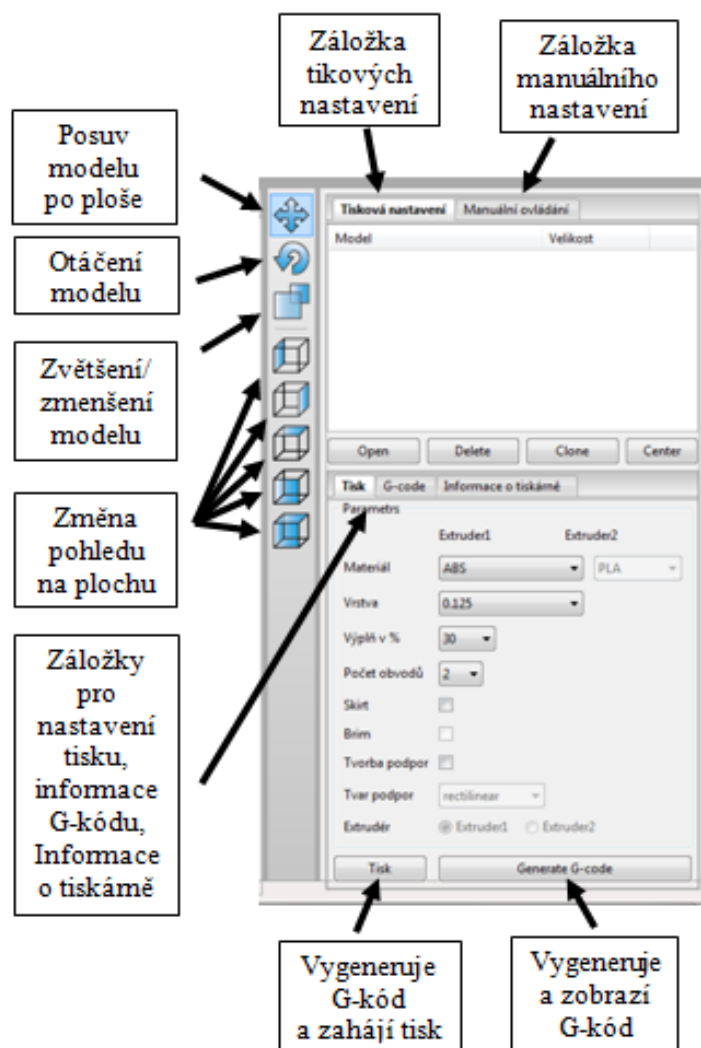
Obrázek č. 25 - Základní nástrojová lišta [44]

Největší část úvodního okna zahrnuje záložku pro zobrazení modelu, záložku pro zobrazení vygenerovaného G-codu (Obr. č. 26) a záložku Job progress, na kterém je stručný protokol o provedeném tisku.

```
M107
M104 S210 ; set temperature
G28 ; home all axes
M109 S210 ; wait for temperature to be reached
G90 ; use absolute coordinates
G21 ; set units to millimeters
G92 E0
M82 ; use absolute distances for extrusion
G1 Z0.113 F7800
G1 X92.472 Y86.615
G1 E1 F18000
G1 X92.621 Y86.394 E1.00793 F540
G1 X93.244 Y85.616 E1.03765
G1 X93.509 Y85.339 E1.04908
G1 X93.49 Y85.32 E1.04988
G1 X94.259 Y84.636 E1.08059
G1 X95.001 Y84.087 E1.10811
```

Obrázek č. 26 - Ukázka G-codu programu

Program umožňuje zobrazit jeden i více modelů najednou, otáčet je a přesouvat je po tiskové ploše. Také umožňuje změnit velikost modelu a pak hned vidět na ploše programu jeho skutečnou velikost pro vytisknutí.[36] Dále program umožňuje na záložce pro tisk zvolit nastavení materiálu, výšky nanášené vrstvy, procentuální nastavení výplně modelu a počet obvodů. K tomu nám slouží panely pro nastavení programu (Obr. č. 27).

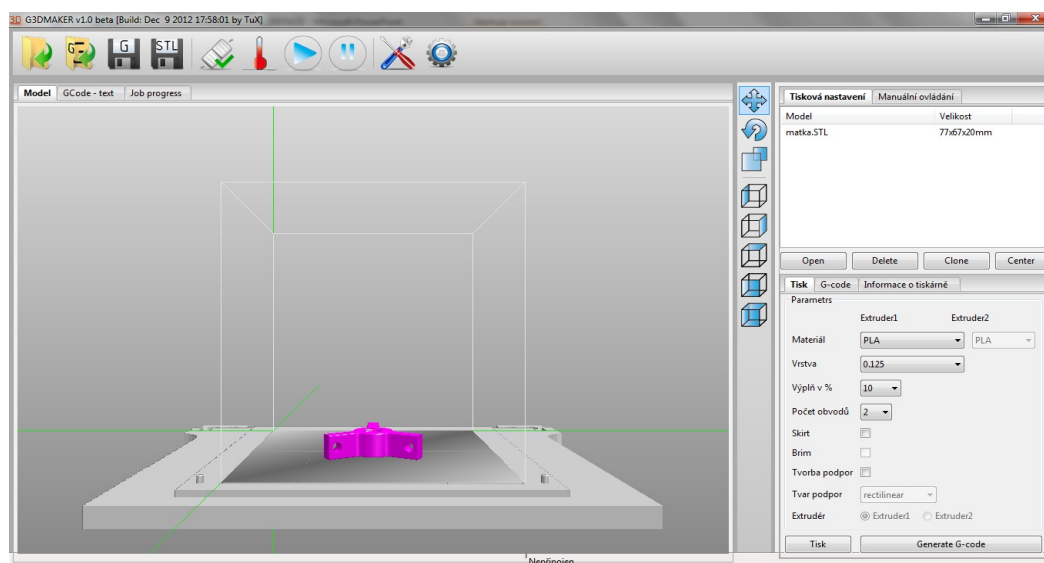


Obrázek č. 27 - Panely pro nastavení programu [44]

4.7 Tisk 3D modelu

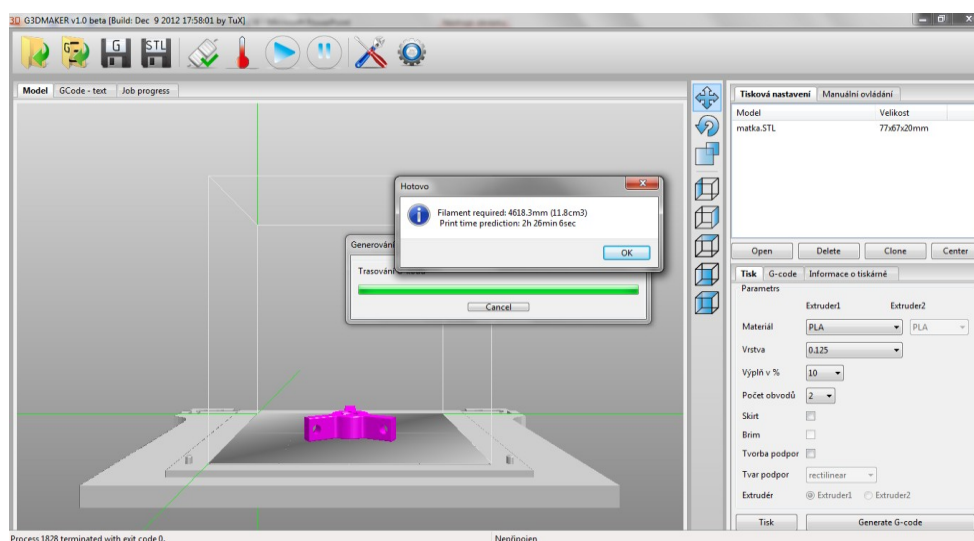
Po celou dobu tisku je k 3D tiskárně připojen počítač se spuštěným programem G3DMAKER, pomocí kterého je prováděn 3D tisk.

Po spuštění G3DMAKER se nám zobrazí pracovní prostředí, jehož největší část je pracovní plocha na kterou umístíme model k tisku, který je uložen v STL formátu (Obr. č. 28).



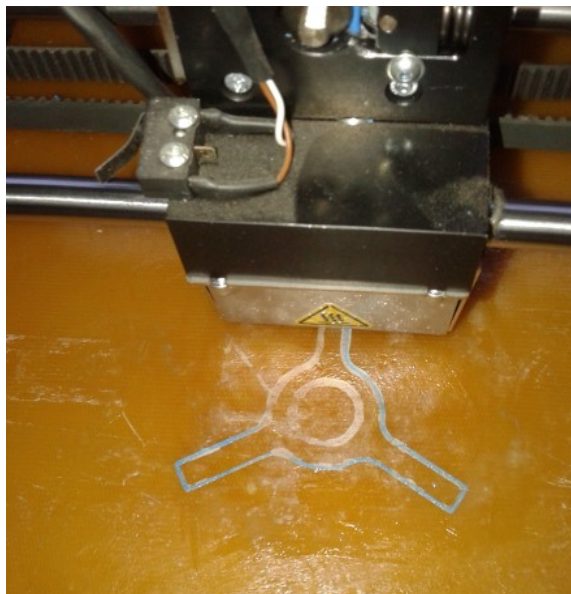
Obrázek č. 28 - Otevření STL souboru v programu

Poté co jsme hotovi s volbou umístění na tiskovou plochu a velikostí modelu, na záložce pro tisk nastavíme materiál PLA, výšku nanášené vrstvy, která bude při tisku 0,125 mm. Dále vybereme třiceti procentní výplň modelu, což ovlivní množství spotřebovaného materiálu pro tisk i čas trvání tisku. Pevnost modulu ovlivní nastavení výplně modelu společně s nastavením počtu obvodů, které jsou nastaveny dva. Tvorbu podpor pro tisk modelu nepoužijeme.



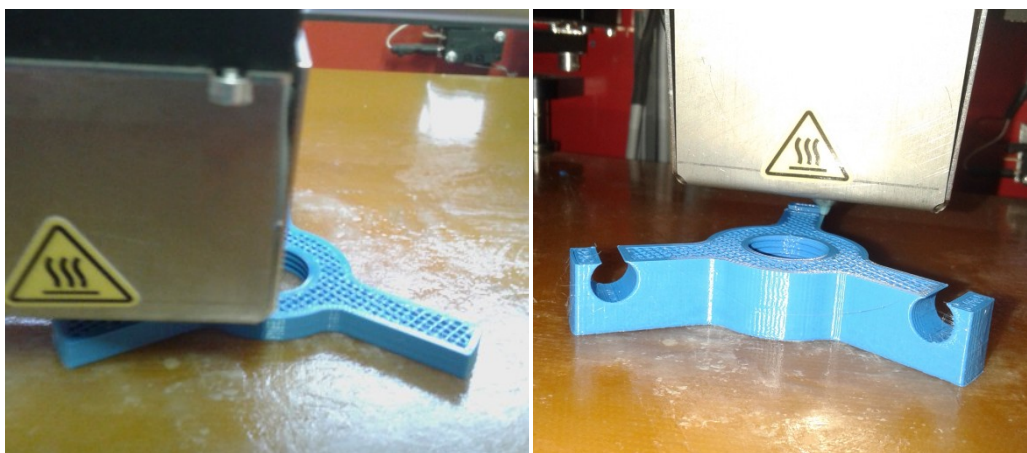
Obrázek č. 29 - Proběhlo generování G-code a byl vypočítán předběžný čas pro tisk a celková délka materiálu

Po všech nastaveních programu a modelu pro tisk je provedeno generování G-codu souboru, který je v programu otevřený. Jakmile je G-code vygenerovaný, zároveň se spočítá předběžný čas pro tisk. Pro zvolený model matice byl vypočítán předběžný čas tisku 2 hodiny 49 minut (Obr. č. 29).



Obrázek č. 30 – Zahájení 3D tisku na tiskárně

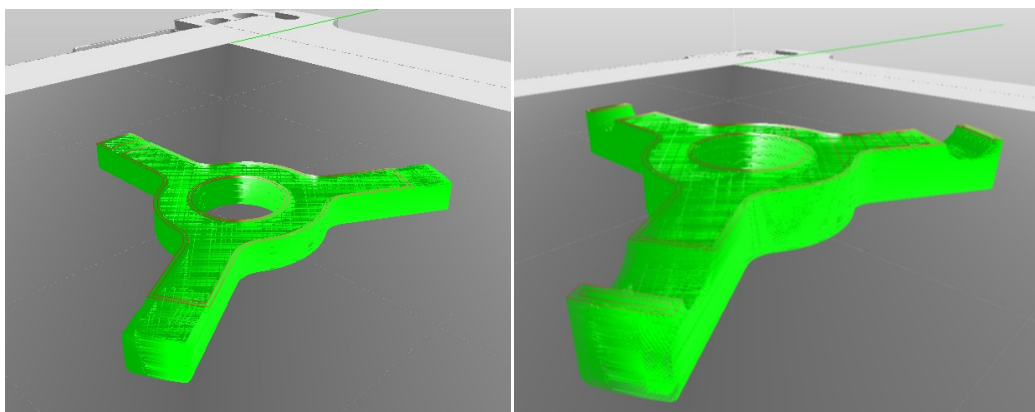
Před zahájení tisku se zapne přehřev trysky, který je v programu pro materiál PLA nastaven na teplotu 180 °C. Tiskovou plochu potřeme speciálním lepidlem pro lepší přilnutí tištěného materiálu k tiskové podložce. Samotný tisk zahájíme stisknutím tlačítka „Tisk“. Vlivem nastavení tiskového profilu pro materiál PLA a následně vygenerováním G-codu je teplota trysky zvýšena až na 210 °C.



Obrázek č. 31 – Průběh 3Dtisku v tiskárně

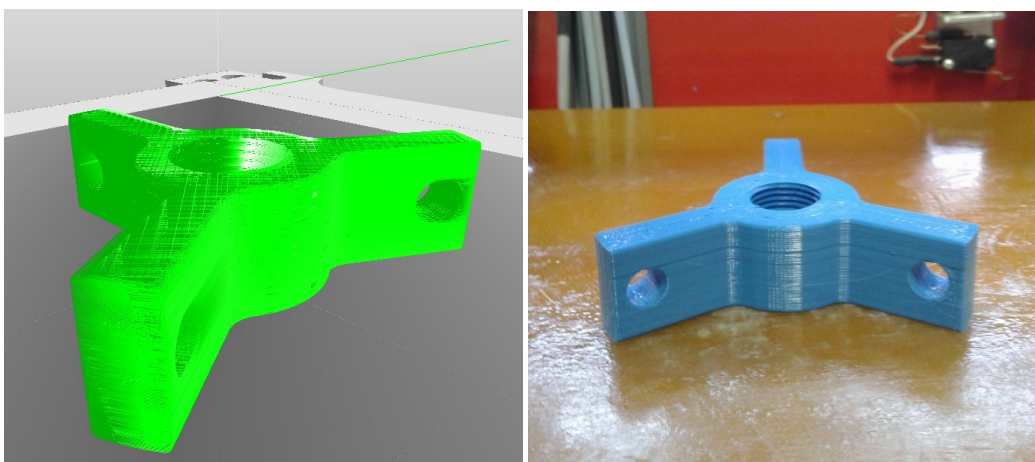
Proces tisku začíná korekcí polohy tiskové hlavy vůči tiskové ploše. Pak tisková hlava najíždí na místo, kde začíná tisknout model vytvářením základny modelu na tiskové podložce (Obr. č. 30). Po vytištění tenké základny následuje tisk bočních stran a 30 % výplně modelu vrstvu po vrstvě až do dokončení celého modelu (Obr. č. 31). Přestože jsou v modelu vytvořeny průchozí díry, tiskové podpory pro jejich lepší tisk tvaru nebyly použity.

Během 3D tisku se nemusíme o nic starat, protože 3D tiskárna celý proces tisku provede automaticky podle vygenerovaného G-codu. Protože tiskárna musí být po celou dobu tisku připojena na počítač a musí být spuštěný program G3DMAKER, můžeme právě díky tomu i na počítači sledovat jak se model vrstvu po vrstvě tiskne (Obr. č. 32).



Obrázek č. 32 – Průběhu 3D tisku v programu

Tak jako v tiskárně roste tištěný 3D model vrstvu po vrstvě, tak i v počítači se vytváří model od základny až po poslední vrstvu modelu (obr. č. 33).



Obrázek č. 33 - Vytištěný 3D model matice

V okamžiku vytištění poslední vrstvy modelu, tisková hlava odjíždí od vytištěného 3D modelu do bezpečné vzdálenosti. Pomocí špachtle nebo nože je pak možné dokončený model odloupnout od základní podložky.

Protože byl ukončen tisk zadaného modelu, teplota tiskové trysky se začíná snižovat až do úplného vychladnutí.

Již dříve bylo poznamenáno, že byl vypočítán předběžný čas tisku 2 hodiny 49 minut. Jde opravdu pouze o předběžný čas, protože skutečná doba tisku byla 1 hodina 56 minut.

4.8 Dokončovací operace vytištěného 3D modelu

Dokončovací operace na vytištěném 3D modelu jsou prováděny za účelem zlepšení povrchových a funkčních vlastností součástí. Pokud máme model pouze na ukázkou designu, není nutné používat kompletní dokončovací práce. V případě modelu, kdy ho použijeme ve funkční sestavě s jinými díly, je nutné dokončovací práce provést mnohem důsledněji a důkladněji.

Na vytištěné matici jsou vidět drobné nedostatky tisku, jako jsou drážky a výstupky, jak materiál na sebe navazuje po obvodu. Po obvodu matice je rovněž viditelná schodovitá struktura povrchu, jejíž odstupňování je ovlivněno výškou zvolené vrstvy nanášeného materiálu. U uvedeného modelu byla použita výška vrstvy 0,125 mm. Po ukončení každé vrstvy se posune tisková hlava po obvodu modelu ve vertikálním směru o tloušťku další vrstvy (0,125 mm).

Do matice bude zašroubován šroub, z toho důvodu bylo zapotřebí proříznout závit odpovídajícím závitníkem. Pro vložení válcových čepů do děr, bylo nutné jednotlivé průměry děr vyčistit od nerovností vrtákem.

Při odstranění matice z tiskové plochy na původně přilepené ploše bylo zapotřebí pro zlepšení vzhledu odstranit zbytky lepidla a odstranit nerovnosti na hranách ploch pomocí zalamovacího nožíku a jehlového pilníku.

Všemi ručními, dokončovacími úpravami na 3D modelu matice bylo dosaženo zlepšení jak funkčnosti závitu a děr, tak i zlepšení výsledného povrchu a vzhledu.

5 Závěr

3D tisk je moderním nástrojem pro vývojové a výrobní procesy. Od tisku na papír jsme se dostali k tisku 3D modelů.

Cílem této bakalářské práce bylo poskytnout přehled o používaných metodách 3D tisku. Při zpracování této práce bylo čerpáno z dostupných internetových zdrojů. Na základě shromážděných informací byly popsány nejčastěji používané technologie pro 3D tisk. Hlavní částí práce je ale využití 3D tisku, na kterou je práce zaměřena. V tomto případě jde o výrobu školní pomůcky sloužící při výuce.

Samotný 3D tisk je nekonvenční technologie, která se stále zdokonaluje a není běžně používanou metodou. Přestože se pořizovací ceny 3D tiskáren stále mění a snižují, 3D tiskárny jsou dostupnější, není zatím ve školství používání 3D tisku samozřejmostí.

Při psaní bakalářské práce jsem si vyzkoušela reálnou výrobu školní pomůcky. Přestože se jednalo pouze o jeden díl sestavy, kterou žáci vyrábějí při odborném výcviku, měla jsem možnost projít celým procesem vzniku modelu od vytvoření modelu pomocí programu SolidWorks 2011 až po 3D tisk pomocí FDM technologie. Použitá technologie 3D tisku umožňuje kvalitní výrobu 3D modelu. Konkrétní výrobní postup pro vybraný díl je popsán v bakalářské práci.

Touto prací jsem chtěla poskytnout přehled nejčastěji používaných aditivních metod pro 3D tisk, ale také popsat jejich princip a rozšířit možnosti jejich využití i v oblasti školství.

Seznam použité literatury:

- [1] 3D tisk. [online]. [vid. 2014-11-07]. Dostupné z:<http://www.o3d.cz/3d-tisk/3d-tisk/>
- [2] 3D tisk: *Počátek 3D tisku*. [online]. [vid. 2014-11-08]. Dostupné z:<http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/09/pocatek-3d-tisku/>
- [3] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. *Wikipedia* [online]. 18. 3. 2007, 10. 10. 2014 [vid. 2014-11-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Prototyp>
- [4] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. *Wikipedia* [online]. 1. 5. 2010, 2. 4. 2013 [vid. 2014-11-02]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Rapid_prototyping
- [5] 3D tech: *RAPID PROTOTYPING*. [online]. 2015 [cit. 2015-01-23]. Dostupné z:<http://www.3dtech.cz/rapid-prototyping>
- [6] 3D printer. [online]. 2006 [vid. 2014-11-02]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3Dprinter.html>
- [7] NELLI, Fabio. *Rapid Prototyping*. [online]. 2014 [vid. 2014-12-27]. Dostupné z:<http://www.meccanismocomplesso.org/en/rapid-prototyping/>
- [8] Stereolithography (SLA). *3DSYSTEMS* [online]. 2014 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/quickparts/prototyping-pre-production/stereolithography-sla>
- [9] *Stereolithography*. [online]. 2009 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z:<http://www.additive3d.com/sl.htm>
- [10] Encyklopedie 3D tisku: Stereolitografie. *3D tisk* [online]. 2014 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/stereolitografie/>
- [11] CHLEBA, Martin. Technologie 3D tisku I.: *Rychle, stručně, o 3D tisku doma i ve světě* [online]. 2014 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/10/technologie-3d-tisku-i/>
- [12] Stereolithography (SLA). *3DSYSTEMS* [online]. 2014 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://www.3dsystems.com/quickparts/prototyping-pre-production/stereolithography-sla>
- [13] *Laminated Object Manufacturing*. [online]. 2009 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z:<http://www.additive3d.com/lom.htm>
- [14] 3D tisk: *Obecně o 3D tisku*. [online]. 2014 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z:<http://www.o3d.cz/3d-tisk/3d-tisk/>
- [15] *Laminated Object Manufacturing (LOM)*. [online]. 2009 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z:<http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>
- [16] 3D tisk: *Selective Laser Sintering*. [online]. 2014 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z:<http://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>
- [17] *Laser Sintering*. [online]. 2012 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z:<http://www.additive3d.com/sls.htm>

- [18] CHLEBA, Martin. 3D tisk: *Technologie 3D tisku II*. [online]. 2014 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z:<http://www.o3d.cz/3d-tisk/2013/10/2237/>
- [19] *Selective Laser Sintering*. [online]. 2009 [vid. 2014-12-22]. Dostupné z:<http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>
- [20] *Thermoplastic Extrusion - also known as - Fused Deposition Modeling®*. [online]. 2012 [vid. 2014-12-26]. Dostupné z:<http://www.additive3d.com/fdm.htm>
- [21] 3D tisk: *Obecně o 3D tisku*. [online]. 2014 [vid. 2014-12-26]. Dostupné z:<http://www.o3d.cz/3d-tisk/3d-tisk/>
- [22] CHLEBA, Martin. 3D tisk: *Technologie 3D tisku II*. [online]. 2014 [vid. 2014-12-26]. Dostupné z:<http://www.o3d.cz/3d-tisk/3d-tisk/>
- [23] *3D Printing Processes: How Fused Deposition Modeling (FDM) Works*. [online]. [vid. 2014-12-27]. Dostupné z: <https://thre3d.com/how-it-works/material-extrusion/fused-deposition-modeling-fdm>
- [24] NELLI, Fabio. *Rapid Prototyping*. [online]. 2014 [vid. 2014-12-28]. Dostupné z:<http://www.meccanismocomplesso.org/en/rapid-prototyping/>
- [25] CRAWFORD, Stephanie. How 3-D Printing Works: *3-D tisku Process*. [online]. 2014 [vid. 2014-12-28]. Dostupné z:<http://computer.howstuffworks.com/3-d-printing4.htm>
- [26] HRONČOK, Miro. *Programy používané při 3D tisku*. In: [online]. 2013 [vid. 2014-12-31]. Dostupné z:<http://fedora.cz/programy-pouzivane-pri-3d-tisku/>
- [27] *Tiskové materiály*. [online]. 2010 [vid. 2015-01-01]. Dostupné z:<http://www.easycnc.cz/rubrika/tiskove-materialy/>
- [28] Tiskové materiály: *ABS*. [online]. 2010 [vid. 2015-01-01]. Dostupné z:<http://www.easycnc.cz/inpage/abs/>
- [29] FUTUR 3D: *Materiály pro 3D tisk*. [online]. 2013 [vid. 2015-01-01]. Dostupné z:<http://www.futur3d.net/materialy-pro-3d-tisk>
- [30] 3D-tisk: *ABS*. [online]. 2014 [vid. 2015-01-01]. Dostupné z:<http://www.3d-tisk.cz/abs/>
- [31] Tiskové materiály: *PLA*. [online]. 2010 [vid. 2015-01-01]. Dostupné z:<http://www.easycnc.cz/inpage/pla/>
- [32] 3D-tisk: *PLA*. [online]. 2014 [vid. 2015-01-01]. Dostupné z:<http://www.3d-tisk.cz/pla/>
- [33] EYSY3DMAKER: Easy to use 3D printer [online]. 2015 [vid. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.coppymania.cz/get.php?id=6795>
- [34] 3D tiskárna - EASY3DMAKER: *Popis produktu* [online]. 2015 [vid. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.copycz.cz/product/--3d-tiskarny/3d-tiskarna---easy3dmaker/175>
- [35] *Prívěťivé tiskárny pro náročné uživatele*. [online]. 2013 [vid. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/privetive-tiskarny-pro-narocne-uzivatele_21409.html

- [36] *G3DMAKER*. [online]. 2012 [vid. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.tiskniv3d.cz/IS/pu_data/send_files/File/tiskniv3d_cz/download/G3dmaker_manual.pdf
- [37] *Stereolithography*. [online]. 2009 [vid. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>
- [38] *Složité a členité předměty s hladkým povrchem tisku*. [online]. 2014 [vid. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://cs.developmentscout.com/fachgebiete/werkstoffverfahren/formgebung/6623-filigrane-und-detailgenaue-objekte-mit-glatter-oberflaeche-drucken>
- [39] MM Průmyslové spektrum. IVAN CIMR. *Rapid prototyping pro každého* [online]. 2010 [vid. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rapid-prototyping-pro-kazdeho.html>
- [40] *3D Printing and Rapid Prototyping Materials* [online]. 2013 [vid. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://proto3000.com/materials-selection.php>
- [41] *Fused Deposition Modeling (FDM)* [online]. 2009 [vid. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>
- [42] *An introduction to 3D Printing* [online]. 2014 [vid. 2015-04-06]. Dostupné z: <https://technorphosis.wordpress.com/2014/04/30/an-introduction-to-3d-printing/>
- [43] *Uživatelská příručka: EASY3DMAKER* [online]. 2012 [vid. 2015-04-06]. Dostupné z: http://www.tiskniv3d.cz/IS/pu_data/send_files/File/tiskniv3d_cz/download/Easy3dmaker_manual.pdf
- [44] *G3dmaker manuál - 3D tiskárny* [online]. 2012 [vid. 2015-04-06]. Dostupné z: http://www.tiskniv3d.cz/IS/pu_data/send_files/File/tiskniv3d_cz/download/G3dmaker_manual.pdf

Seznam obrázků:


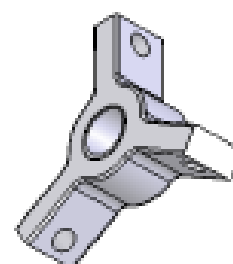
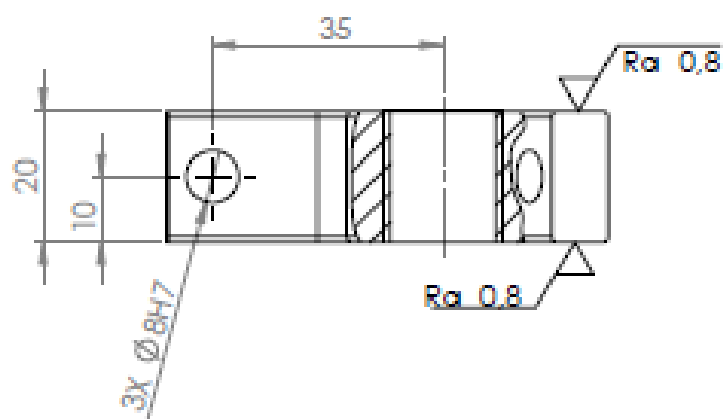
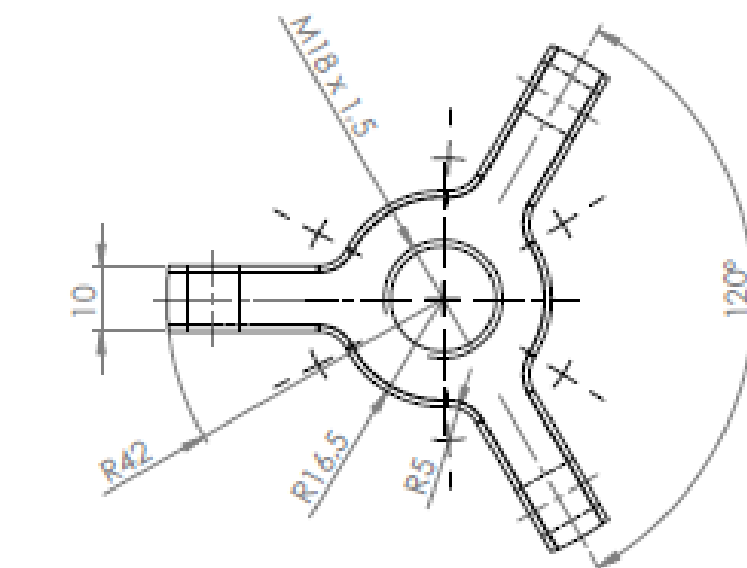
Obrázek č. 1 - Stereolitografie (SLA) [37]	13
Obrázek č. 2 - Při stereolitografii vzniká model vytvrzováním pryskyřice. [38].....	13
Obrázek č. 3 - Vrstvené Object Manufacturing (LOM) [15]	14
Obrázek č. 4 - Ukázky modelů vytvořené technologií LOM [39]	15
Obrázek č. 5 - Selective Laser Sintering (SLS) [19].....	16
Obrázek č. 6 - Detail hotového výrobku po tisku metodou SLS [40].....	16
Obrázek č. 7 - Fused Deposition Modeling (FDM) [41]	17
Obrázek č. 8 - Detail hotového výrobku po tisku metodou FDM [40]	18
Obrázek č. 9 - Process Cykle [42].....	19
Obrázek č. 10 - Model Mesh [24]	20
Obrázek č. 11 - Orientace 3D modelu je důležitým faktorem [24].....	21
Obrázek č. 12 - podpěry jsou další díly pro model [24].....	22
Obrázek č. 13 - Trojrozměrný model je rozdělen do překrývajících vrstev [24].....	23
Obrázek č. 14 - Tisková struna ABS červená	25
Obrázek č. 15 - Tisková struna PLA bílá	26
Obrázek č. 16 - SolidWorks 2011, model matice	27
Obrázek č. 17 - SolidWorks 2011, Uložit jako STL formát	28
Obrázek č. 18 – SolidWorks 2011, Možnosti exportu	29
Obrázek č. 19 - SolidWorks 2011, Možnosti exportu - hrubé rozlišení.....	29
Obrázek č. 20 - SolidWorks 2011, Možnosti exportu - jemné rozlišení.....	29
Obrázek č. 21 - EASY3DM AKER	30
Obrázek č. 22 - Popis součástí tiskárny [43].....	31
Obrázek č. 23 - 3D lepidlo - 3D Glue [43].....	32
Obrázek č. 24 - Úvodní okno programu G3DMAKER [44].....	33
Obrázek č. 25 - Základní nástrojová lišta [44]	34
Obrázek č. 26 - Ukázka G-codu programu	34
Obrázek č. 27 - Panely pro nastavení programu [44].....	35
Obrázek č. 28 - Otevření STL souboru v programu.....	36
Obrázek č. 29 - Proběhlo generování G-code a byl vypočítán předběžný čas pro tisk a celková délka materiálu	36
Obrázek č. 30 – Zahájení 3D tisku na tiskárně	37
Obrázek č. 31 – Průběh 3Dtisku v tiskárně.....	37
Obrázek č. 32 – Průběhu 3D tisku v programu	38

Obrázek č. 33 - Vytisknutý 3D model matice	38
--	----

Seznam příloh:

Příloha A – Schematický výkres modelu.....	47
--	----

Příloha A – Schematický výkres modelu



$R_a \geq 0,8$

PO OBVODU SRAZIT HRANU R1

			NOME: MATICE	
			MATRICOLA: DATA: 1 / 1 / 2010	